

微生物在重金属污染矿山修复中的应用探析

王 奥¹ 陈远铭² 周晓倩³

1.中航勘察设计研究院有限公司；2.中国建筑材料工业地质勘查中心河北总队；3.中安国泰（北京）科技发展有限公司

摘 要：本文探析了微生物在重金属污染矿山修复中的应用探析。随着重金属污染不断加剧，矿山修复成为环保领域关注的问题之一。微生物因其高度多样性、适应性和强韧性等特点，被广泛应用于矿山土壤修复。文章探讨了微生物修复技术的优势以及在铜钴镍矿区和镉矿山的重金属污染治理过程中的应用现状。未来，需要进一步解决微生物菌种优化和修复技术创新的问题，同时政策支持和合作是推动微生物修复技术规模化应用和推广的必要条件。

关键词：微生物；重金属污染；矿山修复；应用探析

随着人类经济的飞速发展，大量的工业废弃物被排放到自然环境中，造成了严重的重金属污染，其中最为突出的是矿山污染^[1]。矿山开采和冶炼过程中所产生的废水、废渣和尾矿等都含有大量的重金属元素，这些元素会对土壤和植被产生严重的危害，甚至威胁到人类健康和环境安全^[2]。矿山修复作为解决重金属污染问题的有效手段之一，正在受到越来越多人的关注。而微生物修复技术，因其独特的优势和亮点，被广泛应用于矿山土壤修复中。本文将结合实际案例，探析微生物在重金属污染矿山修复中的应用现状和前景。

一、微生物重金属污染矿山修复技术

在重金属污染矿山修复中，微生物修复技术是利用微生物代谢和生命活动进行环境修复的一种先进技术。通过微生物菌株吸附、沉淀、氧化、还原等方式将毒性高的重金属离子转化为相对低毒性的离子或沉积于土壤中，并产生一些代谢产物以增加土壤肥力和植被的生长情况，从而达到治理污染的目的。

二、微生物在重金属污染矿山修复技术的优势

（一）精确性高

微生物在重金属污染矿山修复技术中的优势是精确性高。微生物修复可以根据不同类型的重金属污染，针对性地选择不同功能的微生物菌株，实现治理的精准性和有效性。首先，不同菌株具有不同的能力。不同种类的微生物对重金属污染物质的吸附、转化和还原作用不同，因此需要选择适合的菌株来处理不同类型的重金属污染。铁还原菌主要通过将 Fe(III) 还原为 Fe(II) 来治理富含铁的矿山废水和土壤，而硫酸还原菌主要的功能为还原硫酸盐，在这个过程中还能够还原 Fe(III) 和 Mn(IV) 等氧化态酸化物。因此，通过选择不同种类的微生物菌株进行治理，可以实现治理工作的更高效。第二，可以利用微生物的适应性。微生物菌株具有较强的适应能力，可以在不同的环境条件下生存和繁殖。例如，耐盐硫酸还原菌可以在高浓度盐度的环境中生存和繁殖，而一些嗜酸性铁细菌则可以在低 pH 值和高酸性环境下进行生长。因此，通过利用微生物的适应性，可以实现对不同类型重金属污染的精确治理。第三，微生物菌株的优化。通过微生物的优化，可以进一步提高微生物菌株对特定重金属污染的治理效果。例如，通过诱变技术或基因改造，可以增强微生物菌株对重金属的耐受性和降解能力，以提高治理效率。这一方面可以让该技术更好地适应各种不同特定重金属污染的环境需求。

（二）避免人为干预的恶化

相比于传统的人为修复方式，微生物修复技术具有不同的优势和特点，其中之一就是能够避免人为干预的恶化。以下是该技术在此方面的优势：第一，更加环保可持续。微生物修复技术在进行治理时，所使用的菌株多数来自于自然界中存在的微生物，在其代谢过程中，产生的废弃物对环境影响较小，可被自然环境循环利用。因此，该技术在重金属污染治理时没有像其他人工处理方法那

样产生大量的污染物，更加环保可持续。第二，适应性更强。微生物菌株来源于自然界，在繁殖和适应过程中已经形成了一定的环境适应性和储存系统，与周围环境的变化保持着良好的协调性。相比较人工处理方法，该技术在修复时本身就与自然界体系互动，可以更好地适应矿山区域内的气候、土壤及植被等特征。第三，有助于生态环境的恢复。微生物修复技术在进行治理时，通过利用微生物代谢活动关键元素转化为无害元素，能够更好地促进矿山区域内植被生长及土壤质量的提升。同时，由于该技术追求自然界中本身存在的微生物反应机制，所以具有较低的干扰性和不可预测性，能够更好地促进生态环境的恢复。

（三）保护生态系统和生物多样性

相比于传统的人工处理方法，使用该技术进行治理不会对目标生物产生危害，也不会对其他非目标生物造成伤害，从而实现了环境完整性的保护。以下是其在此方面的原因：第一，不干扰自然界生态系统。微生物修复技术是基于自然界中存在的微生物与植物反应机制而来，它的特殊操作方式使得使用过程不会给当地自然环境造成损失。通过合理选代微生物菌株、调节环境条件和细致精准地执行技术方案，微生物修复技术可以完成重金属污染的治理，并在不干扰生态系统和生物多样性的情况下实现环境修复。第二，促进生物多样性的恢复。重金属污染对生物多样性造成了严重影响，而微生物修复技术的应用，能够使得废弃物中的富营养化物质转化为生态所需元素，从而促进当地生态环境的恢复。特别是在土壤中，合理使用微生物处理方法能够改善土壤肥力和有机物含量，增加植物的生长，从而保护生态系统和生物多样性。

三、微生物在重金属污染矿山修复中的应用

（一）微生物在重金属污染矿山修复中的菌株选择和优化

1. 适宜的微生物菌株选择

不同类型的重金属对不同的微生物都有不同的影响，因此需要选择适宜的微生物菌株来进行治理。比较常用的微生物菌株包括硫酸还原菌、铁还原菌、亚硝酸盐还原菌等。硫酸还原菌是一种重要的微生物菌株，在硫酸盐与同时还原的过程中能够还原 Fe(III) 和 Mn(IV) 等氧化态酸化物。所以，对于矿山的铁、锰污染比较严重的地方，可以考虑使用硫酸还原菌进行治理。铁还原菌是一种能够在缺氧条件下代谢铁的微生物，可以通过将 Fe(III) 还原为 Fe(II) 来修复含铁的废水、土壤等。因此，铁还原菌在治理富含铁的矿山废水和土壤中具有较好的效果。亚硝酸盐还原菌可将亚硝酸盐还原为 N₂，使之得到循环利用。因此，亚硝酸盐还原菌在氮循环中起到了不可替代的作用。在重金属污染治理中，亚硝酸盐还原菌也具有一定的应用前景。

2. 微生物菌株优化

为了更好地发挥微生物治理重金属污染的效果，需要进行微生物菌株的优化。例如，采用诱变技术或基因改造来增强微生物菌株

对重金属的耐受性和降解能力,以提高治理效率。诱变技术是通过物理或化学方法来诱导微生物基因发生突变,从而改变微生物菌株的性状。诱变后的微生物菌株具有更强的重金属耐受性和降解能力,可以更好地进行治理。基因改造则是利用现代分子生物学技术来改变微生物菌株的基因组结构,以增强微生物菌株的功能。通过基因改造,可以增加微生物菌株的重金属吸附能力和还原能力等,提高治理效率。

(二) 现场调查与前期处理

现场调查与前期处理是微生物修复技术在重金属污染矿山治理中至关重要的一个环节。该环节主要包括采样检测、环境参数评估和毒性试验等几个阶段,具体如下:

1. 采样检测

采样是治理重金属污染矿山的的第一步,它能够为后续的治理工作提供有力的依据。在采样过程中,需要确定采样点位以及采样深度,保证所采样品能够代表矿区重金属污染物的分布情况。同时,还需注意采样方法,并按照规范的操作流程对板块、土壤和废水等多种样品进行采集。采集完后,应尽快将样品送到实验室,进行详细的化学分析。

2. 环境参数评估

在采样之后,就需要对环境参数进行全面的评估。这些参数包括重金属离子的含量、pH 值、有机质含量、粘粒含量以及氧化还原电位等。通过对这些参数的评估,能够更加清晰地了解矿区的污染状态和其对周围环境的影响程度,从而为后续治理方案的制定提供更为精确的数据支持。

3. 毒性试验

针对不同类型的矿区,毒性试验可以有多种不同的形式。例如,可通过水生微生物的发育情况、植物对重金属离子的耐受性等方式进行评估,以判断治理方向和方法。通常会将样品溶于不同比例的水中,再用特定的土壤或者植物进行农艺食品检测,确定其对重金属污染的敏感度和危害程度。

(三) 微生物修复作业

在镉矿山治理中,微生物修复技术是一种有效的治理手段。针对镉污染问题,利用镉氧化细菌、镉还原细菌、铁还原细菌等多种微生物菌株,以降低镉离子的含量,改善土壤和水体环境质量。

1. 镉氧化细菌

在镉矿山环境中,镉主要以三价阳离子的形式存在于自然界中,并且具有很强的毒性。而镉氧化细菌则能够利用镉离子作为电子受体进行代谢反应,将其氧化转化为五价镉,通过此过程来降低镉离子的浓度,达到显著的治理效果。

2. 镉还原细菌

铁镉矿是镉矿山中常见的成矿物,其中铁的还原能力可以用于还原镉离子。而微生物也能够利用这种还原作用来降低镉离子的浓度。镉还原细菌能够使用镉离子作为电子受体,将其还原成三价镉或者零价镉,从而有效地将镉离子的浓度降低到可接受的水平。

3. 铁还原细菌

铁还原细菌是一种在含铁酸盐水体中广泛存在的微生物,它们主要通过将自由态的氧化亚铁离子(Fe^{2+})转化为自由态的氧化三铁离子(Fe^{3+})来进行代谢活动。此外,通过利用反硝化作用和还原作用,铁还原细菌还能够将镉离子从水体中去除,从而达到有效治理镉污染的目的。

四、微生物在重金属污染矿山修复中的应用举例

(一) 铜钴镍矿区的微生物修复

铜钴镍矿区的废水和尾矿均含有高浓度的 Cu、Co、Ni 等重金属离子,对土壤和植物造成了严重的危害。为了治理这一问题,运用了一系列在微生物修复领域广泛使用的菌株,如硫酸还原菌、铁

还原菌、亚硝酸盐还原菌等,在铜钴镍矿区进行地下水 and 土壤的修复。通过微生物的作用,能够将高浓度的重金属离子转化为相对低毒性的物质,提高了土壤的肥力和植被的生长情况。

(二) 镉矿山中的微生物修复

在镉矿山的治理过程中,利用了镉氧化细菌、镉还原细菌、铁还原细菌等多种微生物菌株,分别针对土壤和水体污染进行修复。经过一段时间的微生物修复,镉矿山土壤及周边水体中的镉浓度明显降低,对环境的影响得到有效控制。

五、微生物在重金属污染矿山修复中的应用前景

随着人们对环境问题的日益重视,微生物修复技术在重金属污染矿山治理中得到了越来越广泛的应用。与传统治理方法相比,微生物修复技术具有成本低、效率高、可持续性等优点,为绿色发展提供了新思路 and 解决方案。为了更好地应对各种实际环境问题,微生物修复技术需要在以下方面持续发展和完善。

(一) 加强菌剂配比和施用方式的研究

微生物菌剂配比和施用方式是影响治理效果和成本的重要因素。未来的研究方向将是探索不同菌种的组合效应,以及不同施用方式的对比研究,为制定更科学、更有效的治理方案提供可靠依据。

(二) 探究微生物修复技术与其他技术的融合

微生物修复技术可以与其他治理技术结合使用,通过整合和融合不同技术手段,实现协同效应,提高治理效率。未来,需要探索如何将微生物修复技术与其他技术无缝衔接,在平衡成本和效果的基础上,实现治理目标。

(三) 开发新的微生物菌株和治理方案

随着环境问题日趋复杂化,单一菌株往往不能满足治理需要。未来,需要开发更多能够在不同环境下适应并发挥独特功效的微生物菌株,并探索更加精细化的治理方案,从而提高治理效果和可持续性。

(四) 强化长效监测和评估体系建设

治理项目的成功与否,需要有完善的长效监测和评估机制保障。未来,需要建立标准化、科学化的监测和评估体系,收集和整理各项治理数据,及时反馈治理效果和改进措施,为下一步治理提供科学依据。

六、结语

从目前的实践中可以看出,微生物在重金属污染矿山修复中具有显著的应用价值和前景。未来,需要更加深入探索微生物与环境之间的相互关系,不断推动微生物修复技术的发展和革新,为矿山修复 and 环境保护事业做出贡献。

参考文献:

- [1]李霞,李华,焦晓燕,等.微生物在重金属污染矿山修复中的应用研究[J].清洗世界,2022(003):038.
- [2]刘晓.微生物技术在重金属污染土壤修复中的应用研究[J].农村实用科技信息,2022(006):028.
- [3]张灿灿.微生物技术在重金属污染土壤修复中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [4]刘晓.微生物技术在重金属污染土壤修复中的应用研究[J].现代农业研究,2022(006):028.
- [5]王兆阳,陆彬,何彩群,等.微生物在重金属污染土壤修复中的作用研究[J].皮革制作与环保科技,2022(013):003.
- [6]刘颖.微生物在重金属污染土壤修复中的作用研究[J].化工设计通讯,2021(047-010).
- [7]李军,梁永平,邹胜章,等.微生物在地下水污染修复中的应用研究进展[J].环境污染与防治,2021.DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.05.020.